

Министерство образования и науки Российской Федерации
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт неразрушающего контроля
 Направление подготовки – Электроника и наноэлектроника
 Кафедра промышленной и медицинской электроники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Мониторинг зданий методом акустической эмиссии

УДК _____

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1AM41	В.А. Пасько		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	П.В. Сорокин	к.т.н		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. каф.	Н.О. Чистякова	к.т.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ю.В. Анищенко	к.э.н		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПМЭ	Ф.А. Губарев	к.ф.-м.н., доцент		

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт неразрушающего контроля
Направление подготовки – Электроника и наноэлектроника
Кафедра промышленной и медицинской электроники

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой

_____ Ф.А. Губарев
(Подпись) _____ (Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
1AM41	Пасько Василию Алексеевичу

Тема работы:

Мониторинг зданий методом акустической эмиссии

Утверждена приказом директора ИНК (дата, номер)

№ 2819/с от 06.05.2015 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

Устройство мониторинга зданий методом акустической эмиссии

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Обзор литературы; • Обзор существующих систем мониторинга зданий методом акустической эмиссии; • Экспериментальное получение сигналов акустической эмиссии; • Выбор структурной и принципиальной схемы; • Моделирование входных узлов схемы; • Макет устройства.
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Структурная схема, принципиальная схема, графические материал по получению сигналов акустической эмиссии, графически материалы по моделированию входных частей устройства.</p>

<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.</p>	<p>Чистякова Наталья Олеговна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Анищенко Юлия Владимировна</p>
<p>Технический раздел</p>	<p>Торгаев Станислав Николаевич</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Раздел 1. Введение</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	
--	--

Задание выдал руководитель:

<p>Должность</p>	<p>ФИО</p>	<p>Ученая степень, звание</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>Доцент</p>	<p>Сорокин П.В.</p>	<p>к.т.н</p>		

Задание принял к исполнению студент:

<p>Группа</p>	<p>ФИО</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>1АМ41</p>	<p>Пасько В.А.</p>		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 102 с., 20 рис., 25 табл., 32 источника, 4 приложения

Ключевые слова: акустическая эмиссия, мониторинг зданий, упругие волны, неразрушающий контроль, устройство, акустика

Объектом исследования является акустическая эмиссия и возможность применения метода акустической эмиссии при мониторинге зданий

Цель работы – разработка устройства мониторинга зданий на основе метода акустической эмиссии

В процессе исследования проводились обзор литературы, теоритический анализ метода акустической эмиссии, обзор существующих систем мониторинга методом акустической эмиссии, эксперимент по получению сигналов акустической эмиссии в железобетонных конструкциях, разработка структурной и принципиальной схем устройства

В результате исследования предложен вариант устройства мониторинга зданий методом акустической эмиссии

Степень внедрения: не планировалось

Область применения: системы безопасности строящихся и эксплуатируемых зданий и сооружений

Экономическая эффективность/значимость работы: устройство позволяет сократить расходы по плановым проверкам состояния зданий

В будущем планируется: продолжение работ по развитию устройства мониторинга зданий методом акустической эмиссии.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (Выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Использовать результаты освоения фундаментальных и прикладных дисциплин ООП магистратуры; понимать основные проблемы в своей предметной области, выбирать методы и средства их решения: демонстрировать навыки работы в научном коллективе, порождать новые идеи;
P2	Анализировать состояние научно-технической проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников; определять цели, осуществлять постановку задач проектирования приборов нанoeлектроники, схем и устройств различного функционального назначения с использованием современной электронной базы нанoeлектроники, подготавливать технические задания на выполнение проектных работ;
P3	Формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с перспективами развития электроники, а так же смежных областей науки и техники, обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач;
P4	Осваивать принципы планирования и методы автоматизации эксперимента на основе информационно -измерительных комплексов как средства повышения точности и снижения затрат на его проведение, овладевать навыками измерений в реальном времени; разрабатывать физические и математические модели элементов нанoeлектроники, компьютерное моделирование исследуемых физических процессов, приборов, схем и устройств, относящихся к профессиональной сфере;
P5	Делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию устройств и систем, готовить научно-технические отчеты, обзоры, рефераты, публикации по результатам выполненных исследований, доклады на научные конференции и семинары, научные публикации в центральных изданиях и заявки на изобретения;
P6	Работать в качестве преподавателя в образовательных учреждениях среднего профессионального и высшего профессионального образования по учебным дисциплинам предметной области данного направления под руководством профессора, доцента или старшего преподавателя.
<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень. Самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности;
P8	Использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности, при разработке и осуществлении социально значимых проектов. Участвовать в проведении технико-экономического и функционально-стоимостного анализа рыночной эффективности создаваемого продукта;
P9	Разрабатывать планы и программы инновационной деятельности в подразделении, проявлять инициативу, в том числе в ситуациях риска, брать на себя всю полноту ответственности;
P10	Способность использовать на практике умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов;
P11	Обладать способностью к самостоятельному обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности

Содержание:

1. Введение	8
1.1. Актуальность.....	8
1.2. Современные методы мониторинга. Обзор литературы.....	9
1.2.1. <i>Вибродиагностика</i>	<i>12</i>
1.2.2. <i>Тензометрия</i>	<i>13</i>
1.2.3. <i>Датчики углов наклона</i>	<i>14</i>
1.2.4. <i>Акустическая эмиссия:</i>	<i>15</i>
1.3. Выводы по главе 1	17
1.4. Постановка задачи ВКР	19
2. Теоретическая часть	20
2.1. Причины возникновения акустической эмиссии:	20
2.2. Акустико-эмиссионные датчики	21
2.3. Изменение формы АЭ сигнала.....	22
2.4. Измеряемые параметры сигналов	23
2.5. Существующие системы АЭ мониторинга.....	26
2.6. Выводы по главе 2	29
3. Практическая часть	30
3.1. Экспериментальная часть.	30
3.2. Принцип работы устройства	32
3.3. Моделирование работы входной части устройства.....	33
3.3.1. <i>Логарифмический усилитель.....</i>	<i>36</i>
3.3.2. <i>Интегратор и амплитудный детектор.....</i>	<i>38</i>
3.4. Структурная схема устройства.....	40
3.5. Принципиальная схема устройства.....	40
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	42
4.1. Потенциальные потребители.....	42

4.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	43
4.3. SWOT-анализ	44
4.5. Оценка готовности проекта к коммерциализации	49
4.6. Инициация проекта	50
4.7. Цель и результат проекта.....	51
4.8. Организационная структура проекта	52
4.9. Ограничения и допущения проекта	52
4.10 Планирование управления научно-техническим проектом	53
4.11. Иерархическая структура проекта.....	54
4.12. План проекта.....	55
4.13. Бюджет научного исследования.....	56
4.14. Расчет затрат на материалы	56
4.15. Расчет заработной платы	57
4.16. Реестр рисков проекта	60
4.17. Оценка сравнительной эффективности проекта:	60
5. Итоги Работы.....	63

1. ВВЕДЕНИЕ

1.1. Актуальность

Скорость агрессивного воздействия окружающей среды на конструкции зданий в последнее время значительно возросла.

Произошедшие за последние годы внезапные обрушения купола крытого катка спортивной школы в г. Липецк (2010 г.), крыши спорткомплекса им. В.А. Алексеева в Санкт-Петербурге (2011 г.), обрушение казармы в Омске (2015 г.), поставили на одних из самых важных вопросы мониторинга технического состояния несущих конструкций зданий и сооружений в системе комплексной безопасности функционирования строительных объектов.

Для своевременного обнаружения этих пагубных явлений, принятия необходимых мер и во избежание серьезного ущерба, возникает необходимость в вызове дорогостоящих специалистов с целью осуществления измерений, требующих огромного количества времени и средств, при этом не обеспечивая необходимой частоты измерений. Решением проблемы могла бы стать автоматизированная система мониторинга здания.

Внедрение такой системы позволит своевременно определять реальное состояние строительных конструкций и фундамента, что обеспечит безопасность и надежность строящихся и эксплуатируемых зданий и сооружений [1].

1.2. Современные методы мониторинга. Обзор литературы.

Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений (СМИС) показана на рисунке 1 [2]. Особое внимание необходимо уделять СМИК объекта, так как применение взаимосвязанного комплекса мероприятий, связанных с проведением неразрушающего контроля инженерно-технического состояния объектов непрерывного, периодического и ситуационного, позволит достичь надёжной и безопасной эксплуатации здания [3].

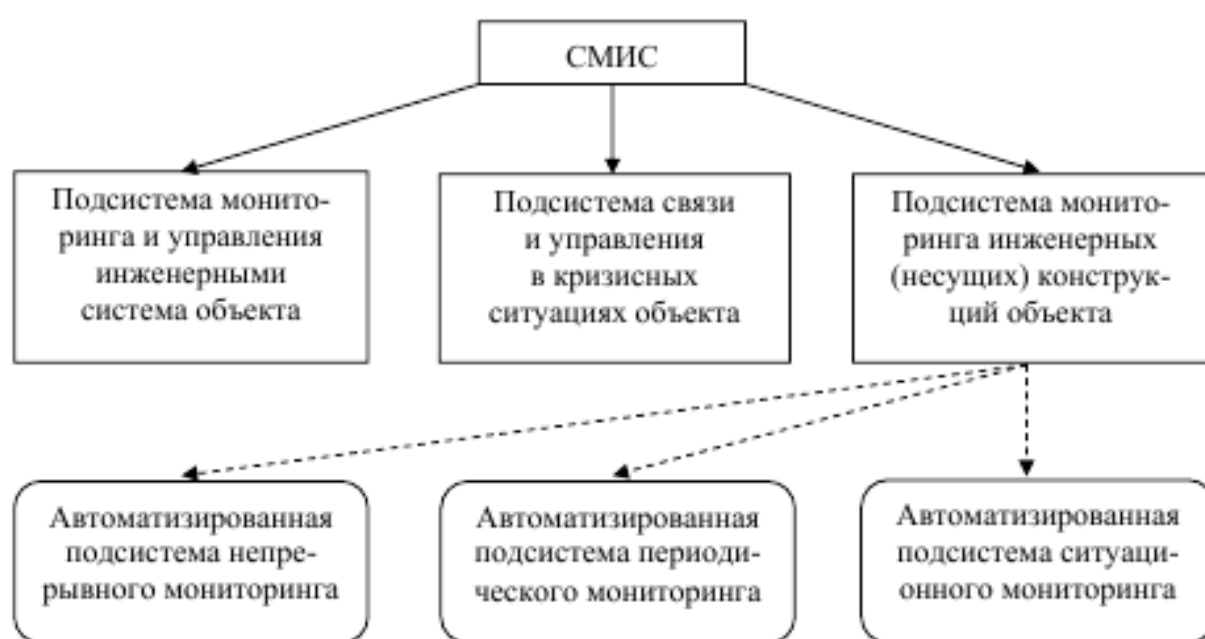


Рисунок 1 – Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений

Сущность и состав (цель, время и место, методы и средства и т.д.) трёх видов мониторинга можно представить в виде таблице 1.

Приведенные в таблице методы мониторинга состояния зданий разнообразны по исполнению, информативности, стоимости работ, точности полученных результатов, сложности применяемой аппаратуры.

Таблица 1 – СМИК объекта.

Неразрушающий контроль		
Непрерывный	Периодический	Ситуационный
Цель мониторинга		
Своевременное обнаружение опасного состояния (режима) и принятия экстренных мер по обеспечению безопасности.	Оценка инженерно-технического состояния узлов, конструкций, сооружения в целом.	Идентификация выявленного дефекта, прогноз его развития. Принятие решения о возможности дальнейшей эксплуатации, ремонте, замене и т.п.
Время и место		
Непрерывная регистрация измеряемых параметров критически важных элементов конструкций и пр.	Распределённый контроль узлов и элементов (технологическая карта контроля) в соответствии с графиком.	При выявлении возможных опасных дефектов и других потенциально опасных состояний.
Методы и средства		
Вибродиагностика (пассивная), тензометрия, маяки, датчики углов наклона, акустическая эмиссия, сенсоры (химические, биологические, радиационные,	Акустическая эмиссия(амплитудный и временной анализ), ультразвуковая, электромагнитная и рентгеновская дефектоскопия, оптические приборы,	Доступные средства и методы, необходимые для выявления повреждений и нарушений режимов, оценки опасности. Применение комплексного набора

тепловые).	тепловизоры, интроскопия, вибродиагностика (активная).	средств обнаружения взрывчатых веществ (при поступлении соответствующих сигналов).
Информативные параметры		
"Грубые" (факт события) – (срабатывание датчиков), превышение порога дискриминации сигналов, отклонение от заданных эксплуатационных режимов.	"Тонкие" (диагностические) – стандартные процедуры (регламенты и стандарты) в соответствии с планируемыми мероприятиями	"Тонкие" – многопараметрический анализ и интегральная диагностика, сочетание стандартных и нестандартных процедур, внеплановые мероприятия.
Режим и особенности обработки результатов		
Автоматический режим регистрации и обработки + автоматизированный (после срабатывания тревожного оповещения диспетчера).	Преимущественно автоматизированный режим регистрации и обработки по типовым алгоритмам, ручной – при детализации по стандартным методикам.	Преимущественно "ручной" индивидуальный прогноз по стандартным и нестандартным методикам.
Персонал		
Диспетчер (оператор).	Инженерно-технические специалисты среднего звена.	Инженерно-технические специалисты высшего звена, + эксперты (консультанты).

Одной из целей работы является непрерывность производимого контроля зданий, поэтому необходимо рассмотреть методы и средства непрерывного мониторинга.

1.2.1. Вибродиагностика

Пассивная вибродиагностика сводится к измерению колебаний сооружения от случайного воздействия. Для сооружений любого типа этим воздействием является фоновый шум - микросейсмы, ветер и техногенные вибрации [4].

При вибрационной диагностике анализируются виброскорость, виброперемещение, виброускорение. [5]

1) Виброскорость позволяет учитывать наличие высокочастотных составляющих в спектре вибрации и, кроме того, является исходным параметром для определения вибрационной мощности. Поэтому в последнее время наблюдается тенденция к переходу нормирования по виброскорости. Виброскорость принято оценивать по эффективному значению, которое позволяет легко сравнивать гармонические и сложные колебания по их энергии.

2) Виброперемещение наиболее целесообразно характеризовать размахом колебания, так как при наличии четных гармоник наибольшие значения положительного и отрицательного отклонений могут быть различными. Поэтому только размах, т.е. сумма абсолютных значений наибольших положительного и отрицательного отклонений, может быть принята за меру виброперемещения.

3) Виброускорение - в свою очередь, производная по времени от виброскорости. Характеризует инерционную силу, которая воздействует на объект при вибрации.

Пример устройства мониторинга вибрационным способом представлен на рисунке 2.[6]



Рисунок 2 – Виброанализатор ВИБРАН 2.0

1.2.2. Тензометрия

Тензометрия служит для экспериментального определения напряжённого состояния конструкций, основанного на измерении местных деформаций. Возможности тензометрии обеспечивают обнаружение причин разрушений по результатам исследования напряжённо-деформированного состояния элементов конструкции, помогают найти наиболее правильные и оптимальные конструктивные решения, изучать влияние различных технологических факторов на прочность конструкций [7].

Тензометрия основывается на нахождении напряжений и деформаций в верхних слоях конструкций с помощью тензодатчиков и регистрирующей аппаратуры.

Тензодатчик по своей сути является резистором, который изменяет свое сопротивление при деформации. Его закрепляют на поверхности объекта исследования, так, чтобы он деформировался вместе с ней. Используются одиночные тензорезисторы или блоки тензорезисторов, соединённые по схеме моста или полумоста. [8]

Регистрирующая аппаратура называется тензостанция. Тензостанция (тензометрическая станция) — аппаратура, предназначенная для регистрации и обработки сигналов тензодатчиков, а также для выдачи команд управления по результатам этой обработки. Основные параметры современной тензостанции:

количество каналов измерения, типы поддерживаемых схем включения датчиков, точностные характеристики, возможность обработки данных в реальном времени и выдачи команд управления. Кроме того, в состав измерительного комплекса часто входят измерительные каналы для ввода сигналов других типов, что позволяет оценивать ситуацию более широко.

Пример тензометрического датчика, применяемого при мониторинге конструкций зданий и сооружений представлен на рисунке 3. [9]



Рисунок 3 – Тензометрический датчик BR-VT

1.2.3. Датчики углов наклона

Датчики угла наклона или инклинометры – это устройства, предназначенные для измерения угла наклона различных конструкций относительно гравитационного поля Земли. Помимо собственно величины угла наклона, может измеряться его направление — азимут [10].

Инклинометры с электрическим выходным сигналом, пропорциональным углу наклона датчика, являются приборами, которые получили широкое распространение не так давно и были доведены до широкого промышленного использования в последние годы. Их прецизионная точность, небольшие габариты, отсутствие подвижных механических деталей и простота установки датчика на поверхности объекта измерения делают приемлемым их применение не только в качестве датчиков крена, но и использовать их в качестве угловых датчиков, как на подвижных так и на неподвижных конструкциях.

Различают три основные группы датчиков наклона, это одноосевые (ось X), двухосевые (оси X и Y) и трёхосевые (оси X, Y и Z).

Точность показаний инклинометров в большой степени определяется правильным выбором места их установки и грамотным монтажом.

Пример инклинометра приведен на рисунке 4. [11]



Рисунок 4 – Инклинометр двухкоординатный ИН-Д5

1.2.4. Акустическая эмиссия:

Акустическая эмиссия (АЭ) — это явление при котором возникают и распространяются акустические волны, во время деформации напряжённого материала. Количественно АЭ — критерий целостности материала, который определяется звуковым излучением материала при контрольном его нагружении. Эффект акустической эмиссии может использоваться для определения образования дефектов на начальной стадии разрушения конструкции.[12]

Особенности метода акустической эмиссии, которые определяют его возможности, а так же области его применения представлены ниже:

- метод АЭ-контроля обеспечивает нахождение и фиксирование дефектов, находящихся на стадии развития, что позволяет группировать дефекты по степени их опасности;
- метод контроля акустической эмиссией обеспечивает контроль всей конструкции с использованием одного или нескольких преобразователей акустической эмиссии, зафиксированных на поверхности исследуемого объекта;

- метод АЭ позволяет контролировать различные технологические процессы и процессы изменения свойств и состояния материалов;
- положение и ориентация конструкции в пространстве не оказывает влияния на фиксирование дефектов;
- метод акустической эмиссии практически не имеет ограничений, которые связаны со свойствами структуры материалов;
- особенностью метода акустической эмиссии, которая ограничивает его применение, является сложность отделения сигналов акустической эмиссии от помех. Это можно объяснить тем, что сигналы акустической эмиссии являются шумоподобными, поскольку сама акустическая эмиссия это стохастический импульсный процесс. Поэтому, при малых сигналах акустической эмиссии, выделить полезный сигнал из помех очень трудно.

1.3. Выводы по главе 1

Подводя итоги и обобщив сказанное ранее можно сделать следующие выводы. Существует не малое количество методов неразрушающего контроля, пригодных для мониторинга состояния конструкций зданий и сооружений. Каждый из них обладает своими преимуществами и недостатками. Из вышесказанного следует, что необходимо продумать целесообразность использования того или иного метода при мониторинге.

При этом возникает вопрос, стоит ли создавать систему мониторинга, основываясь на одном методе неразрушающего контроля, или использовать несколько методов.

Использование одного метода может привести к необходимости применения достаточно серьезных аппаратных и технических средств, которые сделают устройство дорогим и труднореализуемым. С другой стороны, если использовать большое количество методов неразрушающего контроля, можно столкнуться с проблемой необходимости больших вычислительных мощностей, которые понадобятся для обработки информации, поступающей с большого числа датчиков, что также приведет к удорожанию устройства.

Выходом из этой ситуации может оказаться система, использующая один метод неразрушающего контроля, в качестве основного, и два-три метода, информация от которых будет вспомогательной. В таком случае устройство может получиться простым в исполнении и не потребует больших вычислительных мощностей и тяжелого программного обеспечения.

В данной работе предложено устройство, основанное на метод акустической эмиссии, в силу его преимуществ перед традиционными методами неразрушающего контроля. Эту систему можно дополнить при помощи 3D-акселерометра, который используется как при вибродиагностике, так и в инклинометрах. Применение 3D-акселерометра позволит получить дополнительную информацию, необходимую при мониторинге зданий, тем самым заменив собой сразу несколько традиционных методов неразрушающего контроля. При этом устройство не будет трудно технически реализуемо и не

потребуется большая прибавка к вычислительным мощностям и необходимости в тяжелом программном обеспечении.

1.4. Постановка задачи ВКР

Целью выпускной квалификационной работы является разработка устройства мониторинга зданий на основе метода акустической эмиссии.

Для достижения цели ВКР необходимо выполнить следующие задачи:

1. Проведение обзора литературы с целью выявления способов мониторинга, а так же изучения возможностей применения метода акустической эмиссии совместно с другими методами неразрушающего контроля;
2. Разработать алгоритм работы устройства мониторинга зданий и сооружений;
3. Разработать структурную схему устройства мониторинга зданий и сооружений;
4. Разработать принципиальную схему устройства мониторинга зданий и сооружений методом акустической эмиссии;
5. Создать макет устройства мониторинга зданий и сооружений методом акустической эмиссии, проведение экспериментальных исследований макета;
6. Провести анализ полученных результатов.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1. Причины возникновения акустической эмиссии:

В связи с дискретной природой веществ, физические процессы, происходящие в них так же дискретны. Малейшие простые события в объекте приводят к его деформации. Но деформирование столь незначительное, что его с трудом можно зафиксировать с использованием существующих средств. Однако, при появлении достаточно большого числа простейших событий, которые образуют поток событий, появляются макроскопические явления в объекте, и сопровождаются заметными изменениями внутренней энергии объекта, причем в момент выхода энергии часть ее выделяется в виде упругих волн. Возникновение таких волн и есть акустическая эмиссия. [14]

Простейший тип волны от АЭ источника представлен на рисунке 5.

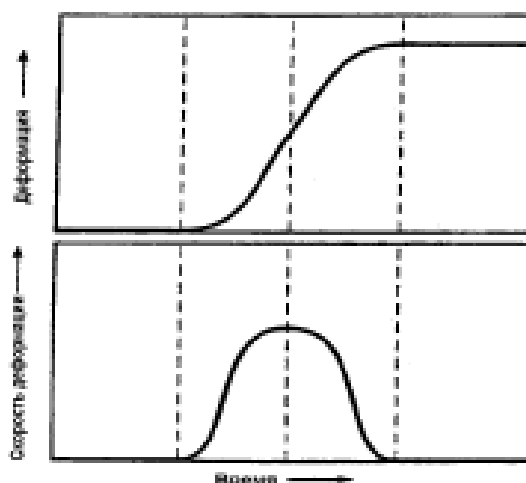


Рисунок 5 – Простейшая волна АЭ, возникающая в источнике.

Волновое смещение представляет из себя функцию похожую на ступенчатую. Напряжение, которое соответствует смещению, принимает форму сигнала, длительность и амплитуда которого обусловлены динамикой процесса акустической эмиссии. Сигналы от таких событий как прорыв микротрещины или разрушение осажденных фракций имеют небольшую продолжительность (порядка микросекунд или долей микросекунд). Амплитудная и энергетическая составляющие первоначального сигнала акустической эмиссии может изменяться в больших пределах и зависит от вида источника акустической

эмиссии. Зародившаяся акустическая волна (сигнал) распространяется от эмиттера во все стороны, при этом распространение обусловлено природой источника и может иметь ярко выраженный анизотропный характер.[15]

Форма изначального сигнала значительно изменяется в процессе распространения в среде материала, а так же на выходе датчика, после преобразования, в связи с чем сигнал, полученный с выхода датчика с датчика, сильно отдаленно похож на первоначальный сигнал созданный источником. Данное преобразование формы сигнала акустической эмиссии стало одной из важнейших проблем, с которыми приходится столкнуться и во время исследований функций источника, и во время решения практических задач неразрушающего контроля. Исследователи, чьи стремления направлены на определение начальной формы сигнала, применяют широкополосные сенсоры и делают подробный качественный анализ вступительной части зафиксированного сигнала. Это необходимый, но при этом крайне сложный метод исследования, т.к. процедура обработки одного сигнала может отнимать много времени. В виду этого большая часть исследователей в области испытания материалов и НК сильно заинтересованы в получении статистических характеристик сигналов акустической эмиссии, чем в доскональном разборе параметров отдельных источников эмиссии. Они применяют узкополосные сенсоры, которые позволяют измерять только некоторые характеристики формы сигналов, но вместе с тем – фиксировать крупные потоки сигналов (сотни сигналов в секунду).

2.2. Акустико-эмиссионные датчики

Главным элементом датчика акустической эмиссии выступает пьезоэлектрический кристалл, который преобразует механические волны в электрический сигнал. Пьезокристалл располагается в специальном корпусе с дном, выполненном в виде пластинки и разъемом (рисунок 6). Сенсор возбуждается волнами напряжений, которые попадают на его дно, после чего преобразует их в электрические импульсы. Электрические импульсы

поступают на находящийся неподалеку предварительный усилитель, усиливаются и в конце концов поступают на основную аппаратуру для обработки и регистрации. В наши дни, для достижения большего удобства при креплении и одновременно снижая чувствительность к электромагнитным наводкам, изготавливаются миниатюрные предварительные усилители и размещаются непосредственно в корпус датчика, получая совмещенный датчик-предусилитель.[16]

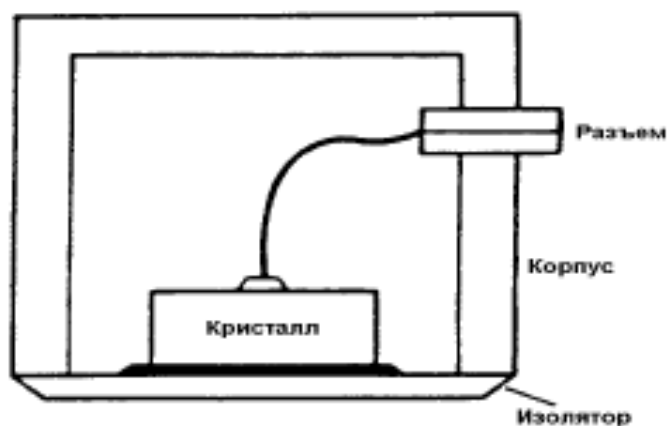


Рисунок 6 – Типичная конструкция резонансного АЭ датчика.

2.3. Изменение формы АЭ сигнала

На изменение формы сигнала оказывает влияние большое число параметров, в том числе и сам датчик. При воздействии широкополосного сигнала эмиссии на резонансный датчик возникает эффект колокольчика, который звенит на определенной частоте, и не зависит от способа его возбуждения. Так же, помимо самого датчика, на форму выходного сигнала с датчика одновременно влияют такие факторы как путь распространения акустических волн, появление разного рода мод, которые распространяются с разными скоростями. Типичный сигнал эмиссии на выходе резонансного датчика приведен на рисунке 7.

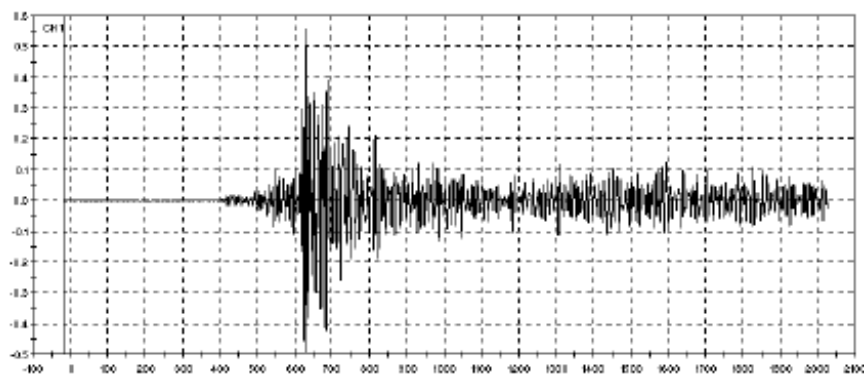


Рисунок 7 – Типичный импульсный сигнал АЭ

Нельзя не увидеть огромного различия между этим наблюдаемым сигналом и простейшим сигналом, сгенерированным источником АЭ (рисунок 5). [17]

2.4. Измеряемые параметры сигналов

Наиболее широко используются пять параметров акустической эмиссии. Этими параметрами являются амплитуда сигнала, число осцилляций, длительность сигнала, время нарастания сигнала, а так же площадь под огибающей сигнала, представляющий собой аналог энергии или MARSE (рисунок 8). Как правило, в тестах используется не все параметры, но не редки случаи, когда приходится использовать дополнительные параметры, такие как, реальная энергия, число осцилляций до пиковой амплитуды, средняя частота, спектральный момент. Но те пять параметров, которые были описаны выше, являются основными для сигналов акустической эмиссии и применяются в этой области неразрушающего контроля на протяжении ряда последних лет. [18]

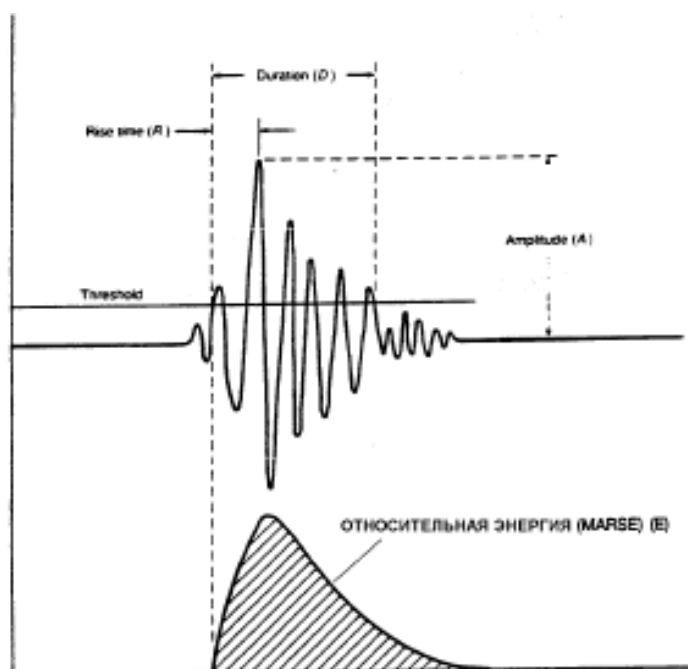


Рисунок 8 – Стандартный набор параметров, измеряемых системой

Амплитуда (A) – это пиковое значение сигнала акустической эмиссии, которое измеряется в вольтах. Амплитуда является важнейшим параметром, который определяет возможность регистрации события акустической эмиссии. Амплитуды сигналов имеют прямую связь с магнитудами событий в источнике и изменяются в широких пределах от микровольт до вольт. Среди основных пяти параметров, амплитуда является более других применимой для проведения статистического анализа данных акустической эмиссии путем получения функций распределения процесса. Амплитуды сигналов акустической эмиссии принято выражать в децибелах (логарифмический масштаб), при этом 1 мкВ на выходе датчика принимается за 0 дБ, 10мкВ – 20 дБ, 100мкВ – 40 дБ и т.д.

Число осцилляций – это параметр, который определяется числом превышений сигналом установленного порога. Измерение данного параметра представляет собой самый простой способ количественной оценки сигнала. Число осцилляций зависит от магнитуды источника сигналов акустической эмиссии, а также от акустических и резонансных свойств окружающей среды и датчика.

MARSE – параметр, который так же называют числом осцилляций энергии. Его вычисляют по площади под огибающей сигнала. Этот параметр определяется как амплитудой сигнала, так и его длительностью, в связи с чем он стал очень популярным в последние несколько. Помимо этого, он практически не зависит от установленного порога и рабочей частоты. Суммарная активность акустической эмиссии может быть измерена путем сложение магнитуд всех сигналов, которые были зарегистрированы; из пяти основных параметров, MARSE лучше всего подходит для этих целей.

Длительность (D) – это полное время, которое начинается при пересечении сигналом порога и заканчивается при уходе сигнала под порог. Параметр измеряется в микросекундах и зависит от магнитуды источника. Также длительность зависит от акустических и резонансных свойств среды и датчика (также как и число осцилляций). Этот параметр применяется при регистрации процессов, которые имеют характерно большие длительности сигналов акустической эмиссии, например процесс, при котором происходит расслаивание композитных материалов. При этом длительность является полезной при фильтровании различного рода шума (по длительности) или других типов источников.

Время нарастания сигнала (R) это параметр, который определяется временем от первого пересечения сигналом порога до достижения пикового значения сигналом. Время нарастания сигнала в большой мере зависит от функции распространения и передаточных свойств сенсора. Данный параметр может применяться при определении типа отдельных источников сигнала и при фильтрации шума.

Для принятия решений о возможности и эффективности применения мониторинга зданий методом акустической эмиссии, в каком либо случае, нужно проводить предварительные работы по определению важных технических и эксплуатационных характеристик устройства, которые могут оказывать влияние на характеристики разрабатываемой системы мониторинга. Наличие сильных акустических помех или низкая возможность материала к

эмиссии в процессе его деструкции, могут определить невозможность применения метода акустической эмиссии, или вызвать необходимость использования большого числа каналов, что окажется либо труднореализуемым технически, либо будет иметь высокую стоимость [19].

2.5. Существующие системы АЭ мониторинга

Возможность применения метода акустической эмиссии для мониторинга зданий и сооружений рассматривается на протяжении многих лет. В [20] представлено устройство беспроводной системы контроля на основе МЭМС (микро-электро-механические системы).

В общих чертах, система представляет собой беспроводную сеть, состоящую из многих узлов, называемых «пылинками». Каждая «пылинка» состоит из одного или нескольких чувствительных элементов (датчики влажности, температуры, вибрации, АЭ и т.п.), устройства сбора и обработки информации, беспроводного приемопередатчика и источника питания (рисунок б).

От системы ожидалось, что корреляция записанных данных АЭ с данными, полученными каждым сенсором (температура, влажность, напряженность, и т.п.), будет способствовать пониманию структурного поведения. Например, перекрестная проверка активности АЭ с увеличением напряженности или с внезапным или ненормальным возрастанием внутренней или внешней температуры может дать дальнейшее понимание о состоянии конструкции.

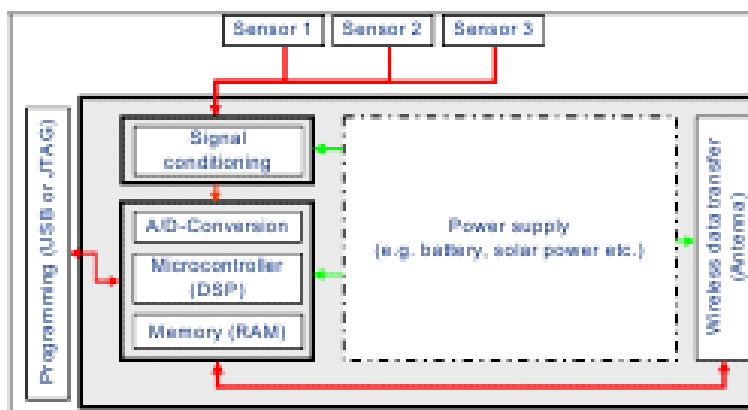


Рисунок 9 – Структурная схема системы мониторинга, основанной на МЭМС.

Еще одной разработкой в данном направлении, является прибор АЭ-контроля «Монитор-3000» (рисунок 10). Прибор предназначен для использования в системах акустико-эмиссионного (АЭ) контроля сосудов, аппаратов, котлов и трубопроводов, а также ответственных железобетонных конструкций.



Рисунок 10 – Прибор акустико-эмиссионного контроля «Монитор-3000»

«Монитор-3000» может использоваться как при испытаниях, так и для непрерывного мониторинга параметров АЭ. [21]

Однако это устройство имеет ряд существенных недостатков, таких как высокая стоимость, неудобство в размещении, невозможность проводить непрерывный контроль, с его помощи, на протяжении всего времени эксплуатации здания.

Следующим примером системы мониторинга является Лель-М/А-Line32D (рисунок 11), описанная в [22].

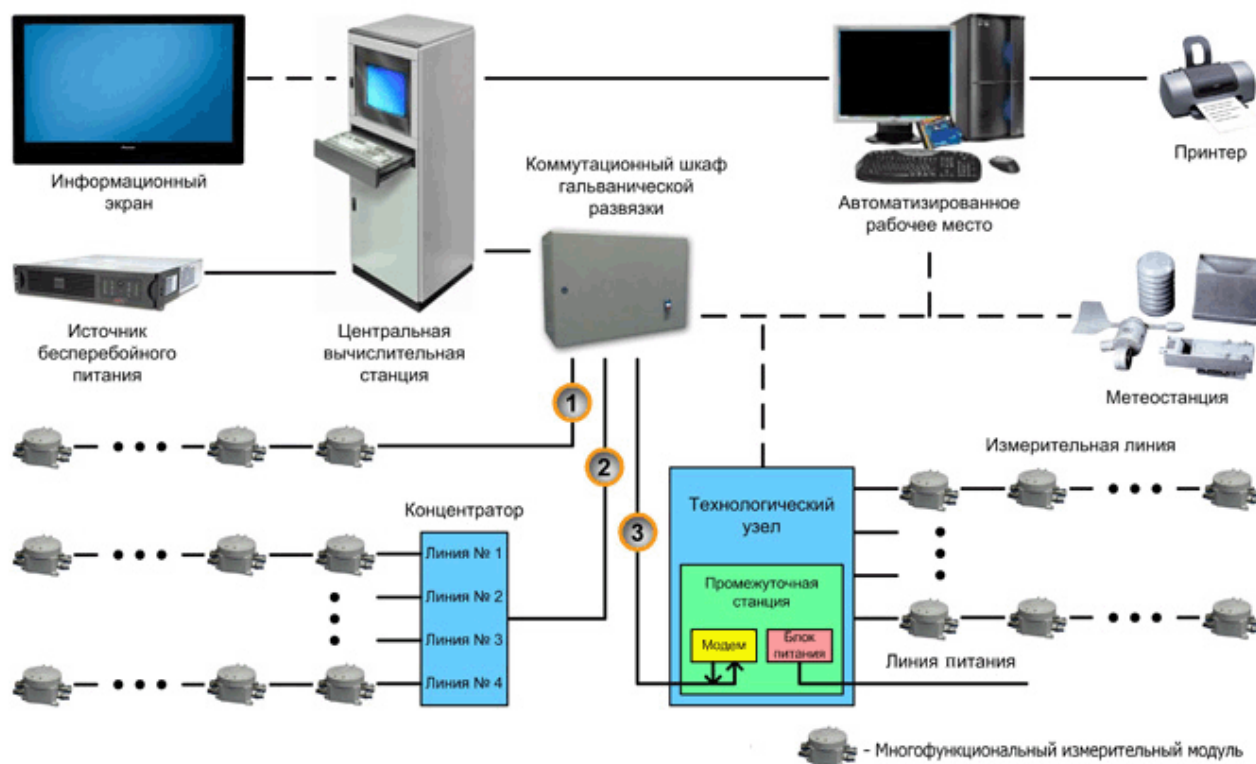


Рисунок 11 – Система мониторинга Лель-M/A-Line 32D(DDM-M)

Аппаратная часть Лель-M/A-Line 32D (DDM-M) представляет собой распределенную систему сбора и обработки диагностических данных и состоит из центральной вычислительной станции и цифровых многоканальных измерительных модулей во взрывозащищенном исполнении.

Каждый модуль имеет гальваническую развязку и может содержать комбинацию трех любых блоков измерения или формирования сигналов управления для исполнительного оборудования. В составе модуля могут использоваться блоки измерения: акустической эмиссии (АЭ), напряженно-деформированного состояния (НДС), вибрации, температуры, скорости коррозии, линейного перемещения, уровня pH и т. д., к которым подключаются соответствующие датчики и преобразователи.

К плюсам этой системы можно отнести подробность получаемых данных.

Однако большим минусом такой системы являются огромные вычислительные мощности и высокая стоимость, вследствие использования большого количества информационных датчиков.

2.6. Выводы по главе 2

Акустическая эмиссия является мощным средством неразрушающего контроля и может применяться для мониторинга зданий и сооружений. Доказательством тому являются приведенные выше системы мониторинга, которые разрабатываются или уже были разработаны и применяются в настоящее время.

Однако большая часть существующих систем мониторинга методом акустической эмиссии обладает одним и тем же недостатком, а именно высокой стоимостью такой системы. Для примера, заявленная стоимость прибора Монитор-3000 на сайте составляет 79000 рублей.

Предлагаемое в работе устройство должно выполнять функцию мониторинга зданий, быть простым в эксплуатации и при этом не должно быть дорогим. Так же устройство должно быть максимально компактным. В дальнейшем это позволит рассмотреть возможность интегрирования этого устройства с другими охранными системами, такими как система пожарной безопасности.

3. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

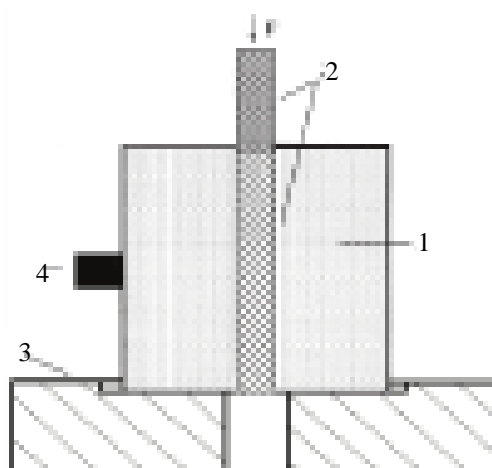
3.1. Экспериментальная часть.

При возведении зданий и сооружений различного рода, как правило, наиболее популярным строительным материалом является использование железобетонных конструкций. Данный материал достаточно давно широко используется в строительном производстве, он имеет свои определенные технологии и отработанные нормы, связанные с вопросами работы с ним, а так же нормы по условиям хранения и способами перевозки этих железобетонных конструкций.

Но, как и в любом другом материале, в железобетоне могут возникать различного рода дефекты. Такие дефекты могут быть разделены на некоторые разновидности и группы: микротрещины, трещины и дефекты части арматуры.

Наиболее опасными дефектами являются дефектные нарушения самой конструкции в арматурной части [23]. Поэтому проводимый эксперимент направлен на регистрацию сигналов акустической эмиссии при нарушении конструкции арматурной части (нарушение адгезионных связей арматуры и бетона).

Проводимый эксперимент описан в [24]. Схема эксперимента представлена на рисунке 12.



1 – бетонный образец;
2 – арматурная сталь; 3 – упор;
4 – пьезоэлектрический преобразователь (датчик АЭ)

Рисунок 12 – Схема эксперимента

Образец подвергался испытанию на выдавливание в арматуру (моделирование нарушения адгезионных связей арматуры с бетоном). Параллельно регистрировались сигналы акустической эмиссии.

Испытания можно условно разделить на две стадии. На первой стадии нагрузка непрерывно растет, а затем, при достижении некоторого максимального значения происходит ее срыв (нарушение адгезионных связей арматуры и бетона), после чего испытание переходит на вторую стадию: движение арматуры в бетоне.

Сигналы, приведенные на рисунке 13а, регистрируются практически равномерно на протяжении всего эксперимента и составляют наибольшую часть всех сигналов полученных в процессе испытаний. Эти сигналы не зависят от стадии нагружения, и скорее всего, обусловлены трением стержня арматуры о бетонную матрицу.

Сигналы, представленные на рисунке 13б, составляют порядка 10% от общей массы полученных сигналов, и практически прекращают накапливаться при преодолении пика нагрузки. Данный тип сигналов, предположительно, обусловлен локальными разрушениями в зоне бетон – арматура.

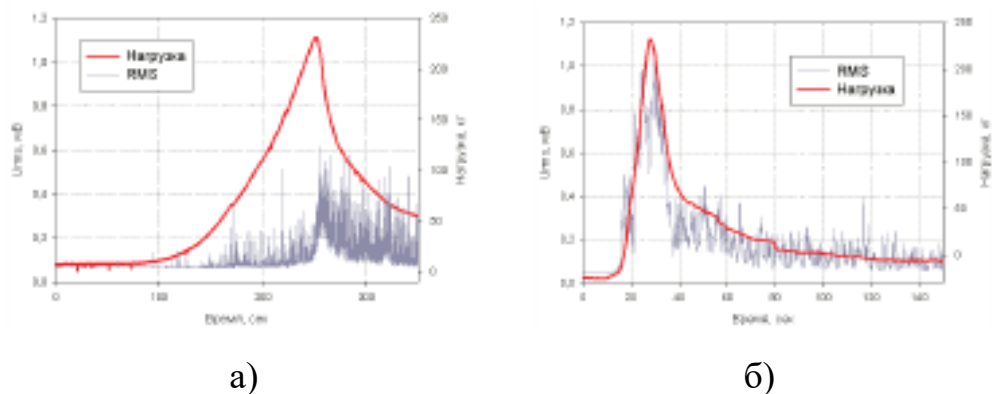


Рисунок 13 – Зависимости нагрузки и напряжения сигналов акустической эмиссии от времени.

Стоит отметить, что на графиках зависимости напряжения сигнала акустической эмиссии и нагрузки от времени наблюдается практически точное совпадение пика нагрузки с пиком напряжения сигнала акустической эмиссии.

Следует отметить, что данный эксперимент относится только к образцам железобетона, и вряд ли применим к другим строительным материалам. Так же необходимо понимать, что сам эксперимент проводился в условиях, мало схожих с реальными условиями эксплуатации зданий. В реальных условиях могут возникать дополнительные пики сигналов, связанные с особенностями эксплуатации зданий, возникающие от сторонних источников упругих колебаний, а дополнительный шумовой фон может увеличить имеющиеся показатели амплитуд сигналов.

3.2. Принцип работы устройства

Первоочередной задачей разрабатываемого устройства является преобразование упругих волн в электрический сигнал. Для этого используется АЭ резонансные датчики, основой которого является пьезокристалл. Работа такого датчика описана в главе 2.

Так же имеет смысл ограничить частотный диапазон работы устройства, для того, чтобы не приходилось обрабатывать лишнюю информацию. Большинство современных бетоноскопов, например описанные в [25, 26], используют рабочие частоты от 50 до 200 кГц, поэтому ориентироваться следует непосредственно на этот диапазон. Для этого можно использовать полосовой фильтр, выполненный на активных или пассивных элементах.

В измерении акустической эмиссии основной проблемой является большой динамический диапазон энергий, которые излучаются в виде фона и сигналы, которые формируются в момент перед разрушением и как апофеоз в момент разрушения. Уровни сигналов различаются на несколько порядков, в десятки-сотни тысяч раз. Динамический диапазон сигналов оценивается в 80дБ – 100дБ. Предлагается 2 пути решения проблемы оцифровки входных сигналов:

1 – использовать логарифмический усилитель, что позволит расширить динамический диапазон фиксируемых входных сигналов. Недостаток данного схемотехнического решения, большой потребляемый ток

логарифмическим усилителем, что не позволяет сделать мало потребляющее устройство.

2 – используя внутренние особенности используемых микроконтроллеров возможно расширение оцифровки динамического диапазона применяя интегрирование входного сигнала и оцифровывая время интегрирования при достижении им некоторого заданного значения. Таким образом, появляется возможность значительно расширить диапазон входных значений. Одновременно с интегрированием входных сигналов необходимо использовать амплитудный детектор, с тем, чтобы не упустить отдельные высокоэнергетические импульсы.

Следующим шагом является обработка полученных сигналов. Для этих целей можно использовать микропроцессор с дополнительными периферийными устройствами, либо выбрать микроконтроллер, который подойдет под поставленные задачи.

Последним шагом работы устройства является передача обработанных данных на дистанционный пульт управления. Для этого можно использовать различные проводные и беспроводные интерфейсы связи, такие как радиомодуль, Wi-Fi или интерфейс RS-485.

Так же, для введения вспомогательных методов неразрушающего контроля, можно использовать 3D-акселерометр, который используется в вибродиагностике, а так же входит в состав инклинометров.

3.3. Моделирование работы входной части устройства.

Используя данные эксперимента, описанного в п. 3.3., а так же используя математическую модель устройства входной части прибора, проведем моделирование преобразования входного сигнала для вариантов входных частей.

Моделирование проводится с использованием программного обеспечения MathCAD.

Сформируем три типа сигналов: «нормальный» – шумоподобный сигнал, имеющий низкую амплитуду, с повышенной амплитудой в рабочее время, «тревожный» - шумоподобный сигнал, с кратковременными выбросами критической амплитуды и «аварийный» - шумоподобный сигнал с кратковременными импульсами критической амплитуды и участком с учащающимися выбросами с повышающейся амплитуды, сигнализирующий о разрушении. Смоделированные сигналы представлены на рисунке 14.

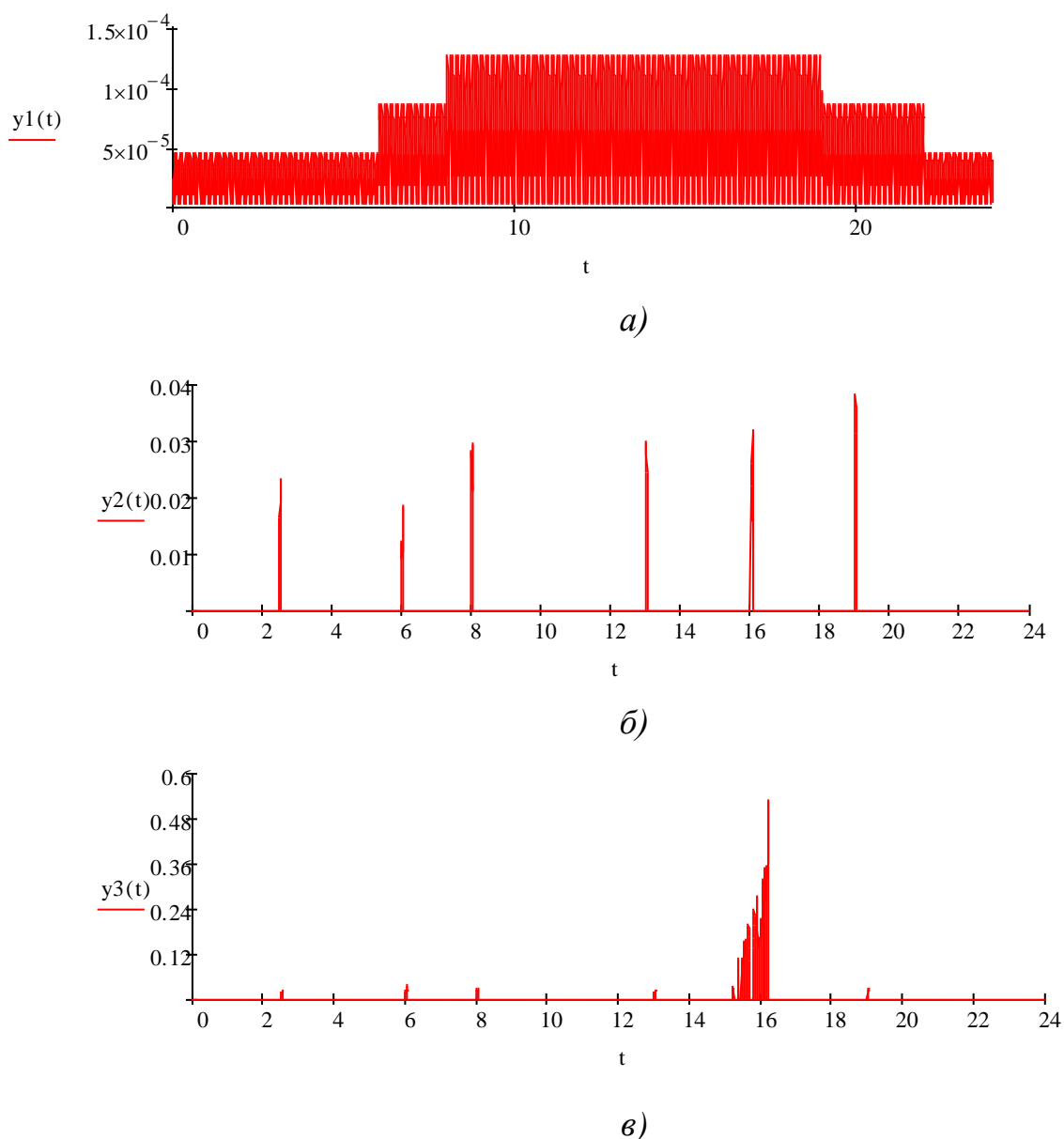
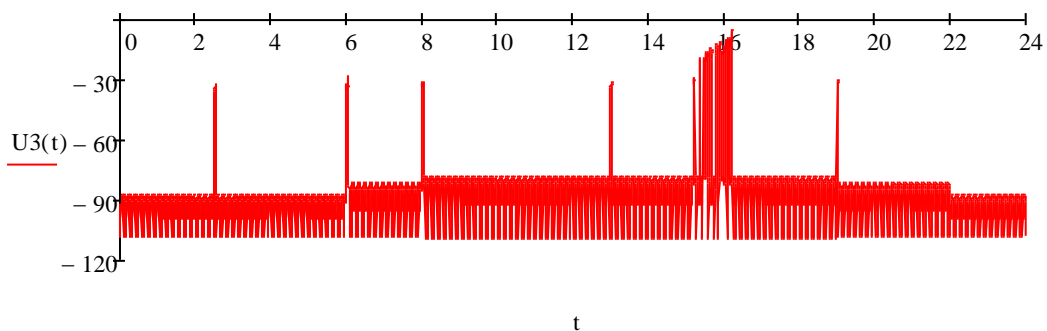
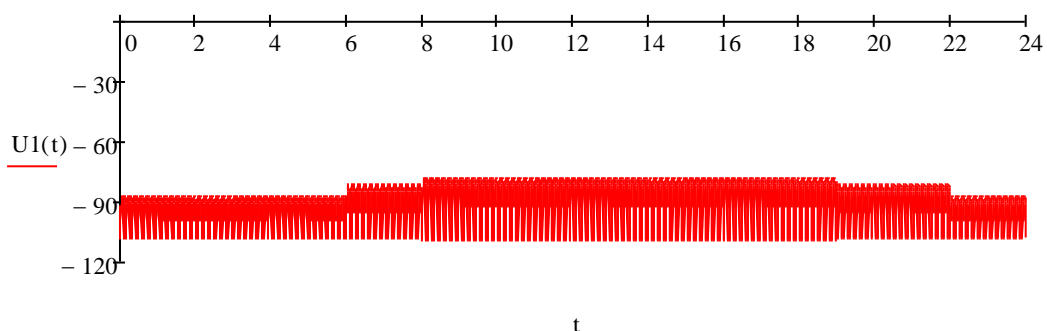


Рисунок 14 – Модели сигналов а) – «нормальный», б) – «тревожный», в) – «аварийный».

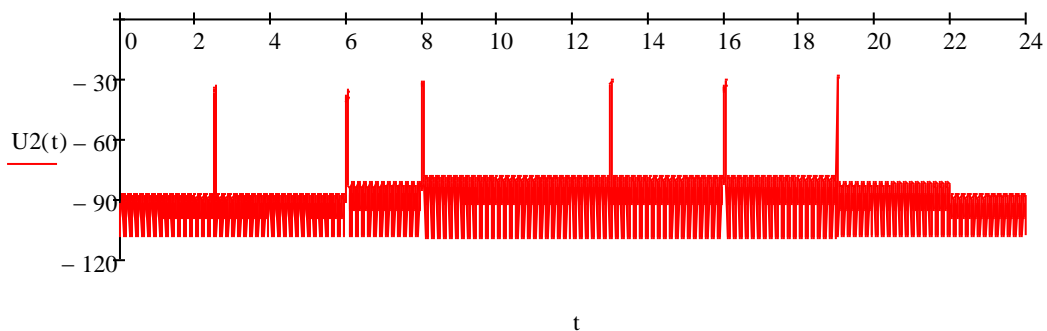
Основной шумоподобный сигнал хорошо виден только на рисунке 14а. Это связано с тем, что отдельные выбросы критической амплитуды, в случае «тревожного» и «аварийного» сигналов в десятки-сотни раз выше, чем уровень шума. Для лучшей картины переведем сигнал в его децибелный эквивалент. Результаты представлены на рисунке 15.



a)



б)



в)

Рисунок 15 – Децибелные эквиваленты сигналов а) – «нормальный», б) – «тревожный», в) – «аварийный».

Далее проведем моделирование входных частей устройства, таких как логарифмический усилитель и интегратор, работающий вместе с амплитудным детектором.

3.3.1. Логарифмический усилитель

Логарифмический усилитель – это вид электронных усилителей, выходное напряжение которого пропорционально функции логарифма входного напряжения усилителя. Данный тип усилителей широко применяется для сжатия сигналов широкого динамического диапазону к его децибельному эквиваленту.

Данный вид усилителей хорошо подойдет для решения поставленной задачи, в связи с большим динамическим диапазоном сигналов акустической эмиссии.

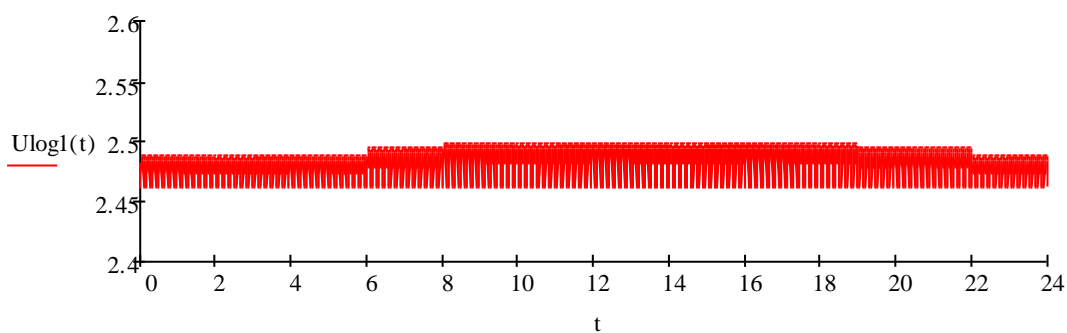
В [27] приведен обзор основных схем логарифмических усилителей от фирмы Analog Devices, в котором подробно описаны микросхемы логарифмических усилителей, приведены их параметры и области применения. Для поставленной задачи подойдет микросхема AD8310. Конечно, можно сделать логарифмический усилитель с помощью операционного усилителя и полупроводникового вентиля, но это приведет к увеличению схемы, а так же к увеличению времени работ, потраченного на расчет схемы, подбор элементов и экспериментальной проверки характеристик усилителя. В то время как фирма Analog Devices представляет уже готовое решение.

Математическая модель логарифмического усилителя AD8310 определена выражением (1):

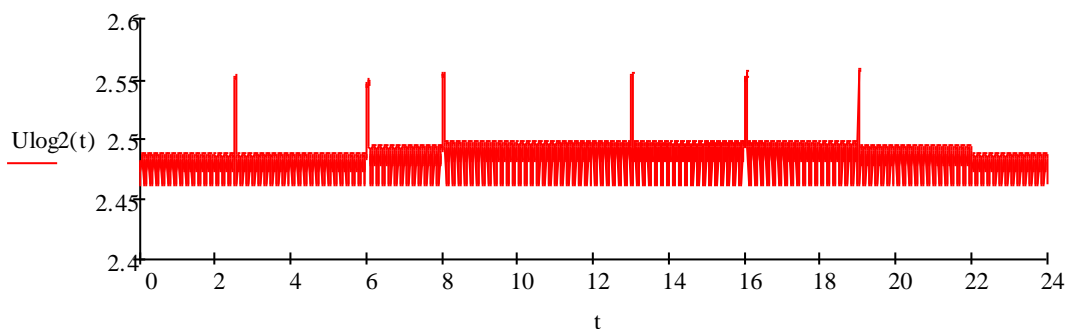
$$U_{out} = U_y \log \frac{U_{in}}{U_x}, \quad (1)$$

где U_{out} – выходное напряжение, U_y – наклон характеристики, равный 24 мВ/дБ, U_{in} – входное напряжение, U_x – уровень среза, равный -108дБВ.

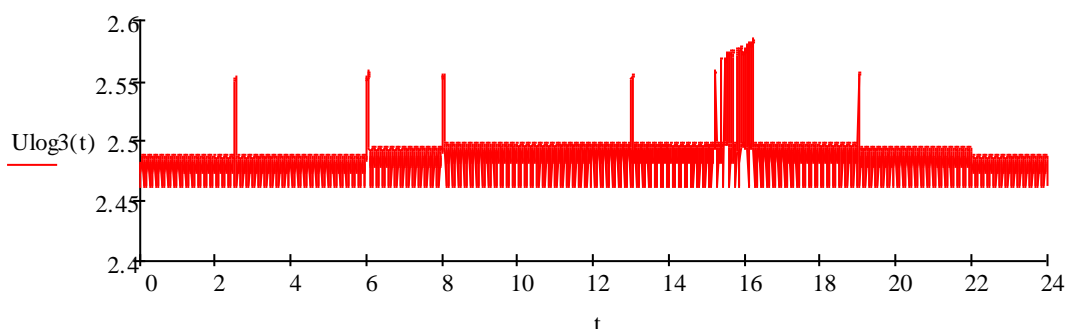
Используя программу MathCAD, проведем моделирование выходного сигнала логарифмического усилителя для трех типов сигналов, определенных на рисунке 14 и рисунке 15. Результат моделирования сигнала на выходе логарифмического усилителя представлен на рисунке 16.



a)



б)



в)

Рисунок 16 – Модели выходного сигнала с логарифмического усилителя
а) – «нормальный», б) – «тревожный», в) – «аварийный».

Результаты моделирования свидетельствуют о том, что логарифмический усилитель не изменяет сигнал качественно (т.е. не влияет на форму сигнала), однако существенно изменяет его количественно (т.е. влияет на амплитуду сигнала). Логарифмический усилитель позволяет компенсировать огромную разницу между амплитудами «нормального» сигнала и выбросами критической амплитуды, при этом позволяет следить за характером нарастания сигнала и в достаточной мере оценивать опасность ситуации.

Однако у данного метода есть ряд недостатков, таких как высокое энергопотребление и использование большого объема ресурсов контролера, что может существенно ограничить его применение в системах с ограниченным уровнем энергопотребления.

3.3.2. Интегратор и амплитудный детектор.

Интегратор – техническое устройство, выходной сигнал которого пропорционален интегралу, обычно по времени, от входного сигнала [28].

Оцифровывая время интегрирования, можно следить за изменением энергии сигнала. Однако, возможен вариант, при котором энергия сигнала с критической амплитудой может быть примерно равна энергии шумоподобного сигнала, в случае, когда перед и после критического значения амплитуды был сигнал с пониженными амплитудами, относительно среднего уровня шума. Чтобы не упустить такие моменты, целесообразно использовать интегратор вместе с амплитудным детектором, чтобы не упустить отдельные высокоэнергетические сигналы.

Так же невозможно непрерывно производить интегрирования сигнала, в связи с чем, интегрировать сигнал следует до определенного уровня напряжения, после чего сбрасывать интегратор в нулевое значение и проводить интегрирование заново.

Математическая модель интегратора определяется выражением (2):

$$U_{out} = \frac{1}{\tau} \int_0^t U_{in} dt , \quad (2)$$

где U_{out} – выходное напряжение, U_{in} – входное напряжение, τ – постоянная времени сигнала, определяется значением резистора и конденсатора, в схеме на операционном усилителе.

Используя программу MathCAD, проведем моделирование выходного сигнала интегратора для трех типов сигналов, определенных на рисунке 14 и рисунке 15. Результат моделирования сигнала на выходе логарифмического усилителя представлен на рисунке 17.

3.4. Структурная схема устройства

Структурная схема устройства приведена на рисунке 18.

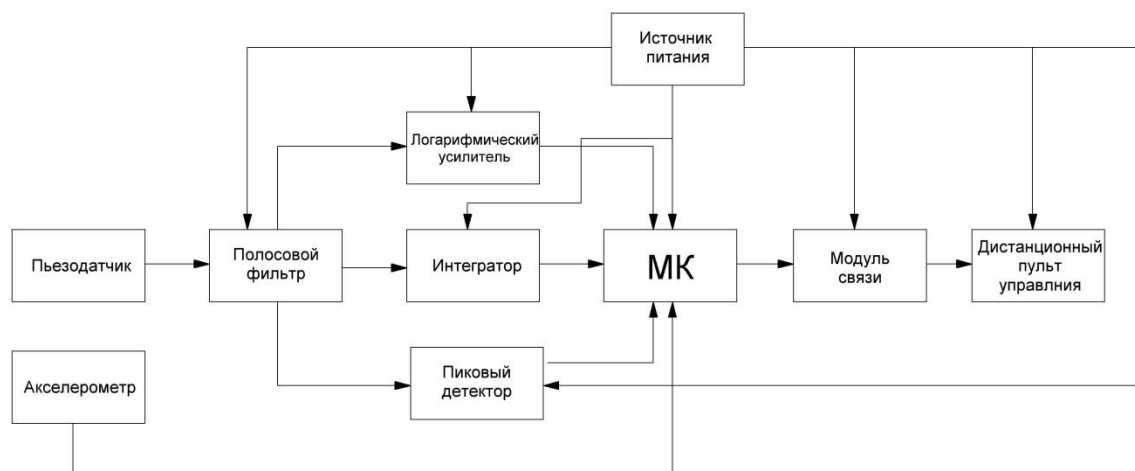


Рисунок 18 – Структурная схема устройства мониторинга зданий.

Данная схема предлагает несколько решений поставленной задачи. На входе схемы стоит датчик, преобразующий акустические волны в электрический сигнал (пьезодатчик). Сигнал с датчика поступает на полосовой фильтр. С полосового фильтра сигнал передается в логарифмический усилитель, интегратор и пиковый детектор. В дальнейшем, данные, поступают на АЦП микроконтроллера, преобразуются в цифровой код, обрабатываются микроконтроллером и через модуль связи передаются на пульт управления.

Разрабатываемое устройство является лабораторным макетом, на котором будет проводиться отработка алгоритмов фиксации акустических сигналов.

3.5. Принципиальная схема устройства

Разработанная схема устройства приведена в приложении Б. В качестве «сердца» устройства будет выступать процессор от фирмы Atmel ATxmega16A4 [29]. Данная серия процессоров достаточно проста в программировании, имеют достаточное быстродействие и обладают всей необходимой периферией.

Полосовой фильтр в схеме выполнен в двух вариантах: с использованием операционных усилителей и на реактивных элементах. Тем

самым преследуется цель проверить, какой из двух вариантов будет более удачным для данного устройства.

Интеграторы выполнены на операционных усилителях. Так же в схему интегратора включен полевой транзистор, для сброса заряда конденсатора.

Как уже было сказано ранее, логарифмический усилитель выполнен с использованием микросхемы AD8310, что исключает необходимость в дополнительных затратах на время работ, потраченное на расчет схемы, подбор элементов и экспериментальную проверку характеристик усилителя. Схема включения представлена в [30].

Модуль связи так же выполнен в двух вариантах: радиомодуль RFM70 и проверенный временем интерфейс RS-485, для выявления лучшего варианта передачи данных на дистанционный пульт. Фотография готового устройства приведена на рисунке 19



Рисунок 19 – Устройство мониторинга зданий методом акустической эмиссии
Часть программного кода приведена в приложении В.

4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

4.1. Потенциальные потребители

Потенциальными потребителями данной научно-исследовательской работы являются в основном коммерческие организации, имеющие собственные офисы, заводы, фабрики и т.п., и желающие обезопасить рабочие участки. [31]

Целевой рынок – рыночные сегменты, на которых разработка планируется продаваться в будущем.

Сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Сегментировать рынок мониторинга зданий и сооружений методами неразрушающего контроля можно по следующим критериям: тип мониторинга и вид неразрушающего контроля (Таблица 3)

Таблица 3 – Карта сегментирования рынка услуг мониторинга зданий и сооружений методами НК.

		Тип мониторинга		
		Непрерывный	Периодический	Ситуационный
Вид неразрушающего контроля	Тепловизионный			
	Ультразвуковой контроль			
	Акустическая эмиссия			
	Центр проектирования и инжиниринга		ООО НТЦ Анклав	
				НПГ «Р-Технолоджи»

Из таблицы 3 следует, что конкуренция в сегменте периодического мониторинга зданий акустической эмиссией конкуренция невелика, а в сегментах непрерывного и ситуационного мониторинга она и вовсе отсутствует. Наиболее привлекательным сегментом для данной разработки является непрерывный мониторинг зданий методом АЭ. В будущем для разработки наиболее интересными сегментами являются непрерывный и ситуационный мониторинг зданий методом АЭ.

4.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Для анализа конкурентоспособных технических решений со стороны ресурсоэффективности и ресурсосбережения помогает произвести оценку сравнительной эффективности научной работы и определить пути ее будущего развития.

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки;
- уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа и т.п.);
- бюджет разработки;
- уровень проникновения на рынок;
- финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения и т.д.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты. Для этого необходимо отобрать не менее трех-четырёх конкурентных товаров и разработок.

Таблица 4. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Удобство эксплуатации	0.1	5	3	4	0.5	0.3	0.4
2. Энергоэкономичность	0.2	5	2	2	1	0.4	0.4
3. Уровень шума	0.05	4	4	4	0.2	0.2	0.2
4. Безопасность	0.1	4	5	4	0.4	0.5	0.4
5. Простота эксплуатации	0.05	5	3	5	0.25	0.15	0.25
6. Возможность подключения к ЭВМ	0.05	5	5	5	0.25	0.25	0.25
7. Количество каналов	0.05	3	5	4	0.15	0.25	0.2
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0.05	3	2	3	0.15	0.1	0.15
2. Уровень проникновения на рынок	0.05	1	3	3	0.05	0.15	0.15
3. Цена	0.15	5	2	3	0.75	0.3	0.45
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0.05	4	4	4	0.2	0.2	0.2
5. Послепродажное обслуживание	0.04	1	4	4	0.04	0.16	0.16
6. Срок выхода на рынок	0.01	2	5	5	0.02	0.05	0.05
7. Наличие сертификации разработки	0.05	1	5	5	0.05	0.25	0.25

4.3. SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

SWOT-анализ проводится в несколько этапов.

На первом этапе мы описываем сильные и слабые стороны проекта, выявляем возможности и угрозы при его реализации, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Сильные стороны. Простота использования, возможность интеграции с существующими системами безопасности, низкое потребление питания, использование нескольких методов неразрушающего контроля для повышения эффективности системы.

Слабые стороны. Отсутствие системы локализации дефекта, труднодоступность некоторой элементной базы, отсутствие детального отчета о степени развития дефекта.

Возможности. Появление дополнительного спроса, увеличение конкурентоспособности.

Угрозы. Отсутствие спроса, введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции.

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 5.

Таблица 5 – SWOT матрица

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	С1. Простота использования.	Сл1. Отсутствие системы локализации дефекта.
	С2. Возможность интеграции с существующими системами безопасности.	Сл2. Труднодоступность некоторой элементной базы.
	С3. Низкое потребление	Сл3. Отсутствие детального отчета о степени развития дефекта.

	питания. С4. Использование нескольких методов неразрушающего контроля для повышения эффективности технологии	
Возможности: В1. Появление дополнительного спроса. В2. Увеличение конкурентоспособности		
Угрозы: У1. Отсутствие спроса. У2. Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции.		

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должно быть направлено на выявление степени необходимости проведения стратегических изменений (таблица 6, таблица 7).

Таблица 6 – Интерактивная матрица проекта для сильных сторон

		С1	С2	С3	С4
Возможности	В1	-	+	0	+
	В2	+	+	0	+
Угрозы	У1	-	+	-	-

	У2	-	0	-	+
--	----	---	---	---	---

Таблица 7 – Интерактивная матрица проекта для слабых сторон

		Сл1	Сл2	Сл3
Возможности	В1	+	-	+
	В2	-	-	-
Угрозы	У1	+	-	0
	У2	-	+	-

Сильно коррелирующими сильными сторонами и возможностями проекта являются В1С2С4, В2С1С2С4.

Сильно коррелирующими сильными сторонами и угрозами проекта являются У1С2, У2С4.

Сильно коррелирующими слабыми сторонами и возможностями проекта являются В1Сл1Сл3.

Сильно коррелирующими сильными сторонами и возможностями проекта являются У1Сл1, У2Сл2.

Третьим этапом является составление итоговой матрицы SWOT-анализа научно-исследовательского проекта. Итоговая матрица SWOT-анализа представлена в таблице 8.

Таблица 8 – SWOT-анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	С1. Простота использования.	Сл1. Отсутствие системы локализации дефекта.
	С2. Возможность интеграции с существующими системами безопасности.	Сл2. Труднодоступность некоторой элементной базы.
	С3. Низкое потребление питания.	Сл3. Отсутствие детального отчета о степени развития дефекта.
	С4. Использование	

	нескольких методов неразрушающего контроля для повышения эффективности технологии	
<p>Возможности:</p> <p>В1. Появление дополнительного спроса.</p> <p>В2. Увеличение конкурентоспособности</p>	<p>Возможность интеграции с существующими системами безопасности, а так же использование нескольких методов неразрушающего контроля при мониторинге могут повлечь появление дополнительного спроса и увеличению конкурентоспособности устройства.</p> <p>Простота использования так же может повысить конкурентоспособность устройства</p> <p>В1С2С4, В2С1С2С4</p>	<p>С появлением дополнительного спроса можно будет модифицировать систему, добавив систему локализации дефекта и возможность получения детального отчета о дефекте.</p> <p>В1С1Сл3</p>

<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса.</p> <p>У2. Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции.</p>	<p>Возможно отсутствие спроса на интеграцию устройства с существующими системами охраны.</p> <p>Использование нескольких методов неразрушающего контроля может привести к введению дополнительных государственных требований к сертификации продукции.</p> <p>У1С2, У2С4</p>	<p>Отсутствие системы локализации дефекта может привести к отсутствию спроса.</p> <p>Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции может осложнить применение элементов, которые итак находятся в трудном доступе.</p>
---	--	--

4.5. Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения. Для этого заполним специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта. Перечень вопросов приведен в таблице 9.

Таблица 9 – Бланк проверки готовности проекта к коммерциализации

№ П/П	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический раздел	5	5
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	3
3.	Определены отрасли и	4	3

	технологии (товары, услуги) для предложения на рынке		
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	0	0
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	3	3
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	5	3
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	0	0
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	0	0
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	0	0
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	0	0
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	0	0
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	0	0
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	0	0
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	0	0
	ИТОГО БАЛЛОВ	21	17

4.6. Инициация проекта

Инициация проекта необходима для определения цели, содержания и для фиксирования финансовых ресурсов научного проекта, а также для определения внутренних и внешних заинтересованных сторон проекта, которые будут взаимодействовать, и влиять на общий результат научного

проекта. Данная информация закрепляется в уставе проекта. Устав научного проекта состоит из трех структур это цель и результат проекта, организационная структура проекта, ограничения и допущения проекта.

4.7. Цель и результат проекта

Основными заинтересованными сторонами данного проекта являются поставщики охранных систем и кафедра промышленной и медицинской электроники НИ ТПУ. Информация по заинтересованным сторонам проекта представлена в таблице 10.

Таблица 10 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Кафедра ПМЭ НИ ТПУ	Низкая стоимость, эффективность, проникновение на рынок.
Поставщики охранных систем	Низкая стоимость, эффективность.
Научный руководитель	Низкая стоимость, эффективность.
Исполнитель работы	Низкая стоимость, эффективность.

В таблице 9 представлена информация, об иерархии целей проекта и критерии их достижения.

Таблица 11 – Цели и результат проекта

Цель проекта:	Спроектировать устройство мониторинга зданий методом акустической эмиссии
Ожидаемые результаты проекта:	Устройство мониторинга зданий методом акустической эмиссии
Критерии приемки результата проекта:	Точное обнаружение высокоэнергетического сигнала, поступающего от дефекта.
Требования к результату проекта:	Требование:
	Минимальное энергопотребление системы
	Низкая стоимость
	Долговечность и надежность устройства

4.8. Организационная структура проекта

Определим рабочую группу данного проекта, определим роль каждого участника в данном проекте, функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Данная информация представлена в таблице 12.

Таблица 12 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1	Сорокин Павел Владимирович к.т.н., доцент, кафедра ПМЭ ИНК НИ ТПУ.	Руководитель проекта	Координирует деятельность магистра, отвечает за реализацию проекта	984
2	Пасько Василий Алексеевич, магистрант, кафедры МПЭ ИНК НИ ТПУ группа 1АМ41	Исполнитель по проекту	Выполнение работ по проекту: монтаж, расчеты, сборка, программирование, анализ результатов.	2784
ИТОГО:				3768

4.9. Ограничения и допущения проекта

Под ограничениями проекта подразумевают факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а так же «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованы в рамках данного проекта. Ограничения по данному проекту представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Ограничения и допущения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
Сроки проекта:	
Дата утверждения плана управления проектом	Декабрь 2015 год
Дата завершения проекта	Май 2016 год

В данном пункте была определена цель проекта, его участники и срок выполнения проекта, а также ожидаемые результаты.

4.10 Планирование управления научно-техническим проектом

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

Планирование научно-исследовательской работы заключается в определении трудоемкости, продолжительности и объемов, которые должны быть выполнены в плановом периоде в достижении поставленной цели НИР.

Планирование объема работ в процессе выполнений проекта осуществлялось с использованием линейного метода в следующем порядке:

- Формулировка задач и перечня работ, которые необходимо выполнить для достижения задачи и конечной цели проекта.
- Определение необходимых материалов и оборудования для НИР.
- Определение консультантов при выполнении задач НИР.
- Расчет продолжительности и последовательности работ.

Успех научно-исследовательской работы, эффективность полученных результатов и дальнейшие перспективы данной работы определяются, в первую очередь, четко сформулированной целью и правильно поставленными задачами для ее достижения.

Для достижения поставленной цели были поставлены и решены следующие задачи:

- Поиск путей решения проблемы оцифровки входных сигналов;
- Макетирование устройства мониторинга зданий методом акустической эмиссии.

Наличие необходимых материалов и оборудования для выполнения НИР также во многом определяет эффективность и исполнения в запланированные сроки поставленных задач.

Участие консультантов в каждой части научно-исследовательской работы играет ключевую и определяющую роль в достижении успеха проекта. В разработке и отладки прибора, определение его режимов работы, участвовали:

- Научный руководитель от кафедры;
- Магистрант.

4.11. Иерархическая структура проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта (рисунок 1).



Рисунок 20 – Иерархическая структура проекта

4.12. План проекта

Для выполнения проекта в срок был использован календарный план-график. Данный календарный план позволяет в табличной форме представить план выполнения предстоящих работ для того чтобы координировать ресурсы времени, рабочие силы и последствия отдельных операций. Для этого был составлен перечень работ, определены участники каждой работы и была установлена продолжительность работ. Все данные сведены в таблицу 14. По данным таблицы 14, была построена Диаграмма Ганта, которая представлена в приложении В.

Таблица 14 – Перечень и продолжительность выполнения работ

№	Наименование работ	Участники	Продолжительность (д), раб.дни	Календарные дни
1	Постановка задачи	Руководитель	4	6
2	Изучение литературы	Исполнитель	20	30
3	Составление технического задания	Руководитель Исполнитель	3	5
4	Создание структурной и принципиальной схемы	Исполнитель	15	23
5	Расчет принципиальной схемы	Исполнитель	5	8
6	Макет	Руководитель Исполнитель	25	37
7	Запуск макета	Руководитель Исполнитель	10	15
8	Отладка	Руководитель Исполнитель	15	22
9	Исследования, выводы, оформление отчета	Руководитель Исполнитель	5	8

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} * k_{\text{кал}}, \quad (3)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}},$$

(4)

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году (365);

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году (110);

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году (8).

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} необходимо округлить до целого числа.

Результаты расчета: коэффициент календарности – 1.48, 154 – календарных дня, 102 – рабочих дня.

Диаграмма представлена в приложении Г.

4.13. Бюджет научного исследования

В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям, представленным в таблице 13. Расходы включают в себе затраты на материалы, заработную плату, отчисления на социальные нужды, накладные расходы.

4.14. Расчет затрат на материалы

Стоимость материалов формируется исходя из цены их приобретения. На статью «Материалы» относятся следующие затраты:

1. Сырьё, основные и вспомогательные материалы;

2. Покупные комплектующие изделия;

В таблице 15 представлен список материалов, сырья необходимых для проектирования научно-исследовательской работы.

Таблица 15 – Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Кол-во	Сумма, руб.
Конденсатор	52	52
Резистор	22	22
Диоды	4	10
Кварцевый резонатор	1	10
Микроконтроллер	1	500
Микросхемы	9	600
Пьезодатчик	1	100
Транзистор	1	30
Корпус	1	200
Дроссель	1	50
Печатная плата	1	500
Разъем	3	50
Всего за материалы		2124
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)		106,2
Итого по статье С _м		2230,2

4.15. Расчет заработной платы

Основная заработная плата.

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда.

Заработная плата занятых лиц выполняемых проект, состоит из основной заработной платы и дополнительной заработной платы:

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} , \quad (5)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} * T_{раб} , \quad (6)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} * M}{F_{\text{д}}},$$

(7)

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн..

Таблица 16 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	-110	-110
- праздничные дни	-8	-8
Потери рабочего времени		
- отпуск	-24	-24
	-	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	223	223

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} * k_p,$$

где $Z_{\text{б}}$ – базовый оклад, руб.;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Базовая заработная плата берётся согласно системы оплаты труда в ТПУ. С учетом того, что научный руководитель был занят при разработке 42 день, а магистрант 98, была найдена основная заработная плата. Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 17.

Таблица 17 – Основная заработная плата участников проекта

Исполнители	З_б, руб.	к_р	З_м, руб	З_{дн}, руб.	Т_р, раб. дн.	З_{осн}, руб.
Руководитель	23264,86	1,3	30244,318	1627,49	42	68354,87
Исполнитель	4500	1,3	5850	314,79	110	34627,8

Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала.

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} * Z_{\text{осн}}, \quad (9)$$

где $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

В данном случае коэффициент дополнительной зарплаты берем равным 15%.

В таблице 18 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 18 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Исполнитель
Основная зарплата	68354,87	34627,8
Дополнительная зарплата	10253,23	5194,17
Зарплата	78608,1	39821,97
Итого по статье С _{зп}	118430,07	

4.16. Реестр рисков проекта

Информацию по данному разделу сведем в таблицу 19.

Таблица 19 – Реестр рисков проекта

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления	Влияние риска	Уровень риска	Способы смягчения	Условия наступления
1.	Валютный риск	Увеличение затрат на покупку ресурсов иностранных поставщиков	3	2	Средний	Использовать отечественные аналоги иностранных ресурсов	Нестабильная экономическая ситуация в стране
2.	Риск повышения цен на ресурсы, оборудование и труд	Увеличение затрат на реализацию проекта	3	2	Средний	Иметь запас необходимых ресурсов	Нестабильная экономическая ситуация в стране
3.	Сбои в работе готовой продукции	Дополнительные расходы, штрафные санкции по контрактам	3	3	Средний	Предоставление гарантийного и постгарантийного обслуживания	Производственный брак, конструкторские ошибки
4.	Высокая доля брака, поставляемого оборудования	Снижение надежности производимой продукции	3	3	Средний	Дополнительное тестирование компонентов	Нарушение технологии производства компонентов
5.	Технологические риски, связанные с разработкой и отладкой новой технологии	Зависимость от поставщиков, невозможность снизить себестоимость продукции	2	3	Средний	Привлечение экспертов по запуску проектов	Попытки модернизировать продукцию под нужды рынка

4.17. Оценка сравнительной эффективности проекта:

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (10)$$

где I_{Φ}^p - интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_i – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{\max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_{\Phi}^p = 0,83, I_{\Phi}^{a1} = 0,65, I_{\Phi}^{a2} = 1$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p, \quad (11)$$

где I_m – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

a_i – весовой коэффициент i -го параметра;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го параметра для аналога и разработки,

устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (таблица 20).

Таблица 20 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии оценки	Вес критерия	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Удобство эксплуатации	0.2	5	3	4
2. Энергоэкономичность	0.3	5	2	2
3. Уровень шума	0.1	4	4	4
4. Безопасность	0.05	4	5	4
5. Простота эксплуатации	0.2	5	3	5
6. Возможность подключения к ЭВМ	0.1	5	5	5

7. Количество каналов	0.05	3	5	4
ИТОГО:	1			

$$I_m^p = 1 + 1.5 + 0.5 + 1 + 0.5 + 0.15 = 4.65$$

$$I_m^{a1} = 0.6 + 0.6 + 0.4 + 0.25 + 0.6 + 0.5 + 0.25 = 2.7$$

$$I_m^{a2} = 0.8 + 0.6 + 0.4 + 0.2 + 1 + 0.5 + 0.2 = 3.7$$

Интегральный показатель эффективности разработки и аналога определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_{\text{ф}}^p}{I_{\text{т}}^p} \quad (12)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^a} \quad (13)$$

Результаты сравнения представлены в таблице 21.

Таблица 21 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Аналог 1	Разработка	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,65	0,83	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	2,7	4,65	3,7
3	Интегральный показатель эффективности	0,24	0,17	0,27
4	Сравнительная эффективность проекта	0,7		0,63

5. ИТОГИ РАБОТЫ

Подводя итоги, отметим все, что было проделано ранее. Был проведен обзор литературы, в ходе которого была раскрыта актуальность проделанной работы. Рассмотрены существующие методы неразрушающего контроля, применяемые для мониторинга зданий и сооружений. Были рассмотрены их сильные и слабые стороны, возможности методов. Рассмотрены преимущества метода акустической эмиссии над традиционными методами неразрушающего контроля.

На следующем этапе проведен теоретический анализ явления акустической эмиссии, рассмотрены причины ее возникновения. Рассмотрено построение датчиков, преобразующих сигнал акустической эмиссии в электрический, а так же изменение формы сигнала, получаемого с выхода датчика. Рассмотрены измеряемые параметры сигналов акустической эмиссии. Проведен обзор существующих систем акустической эмиссии.

В практической части был проведен эксперимент для получения непосредственно, сигналов акустической эмиссии, предложен принцип работы устройства мониторинга зданий, основанный на АЭ методе, смоделированы сигналы для нескольких вариантов входных частей устройства. Предложена структурная и принципиальная схема устройства.

По результатам можно сделать следующие выводы. Акустическая эмиссия является мощным средством неразрушающего контроля, которое прекрасно подходит для мониторинга состояния конструкций зданий и сооружений. Доказательством этому служат уже существующие системы АЭ контроля. Однако существующие системы достаточно дороги и не всегда по карману тем, кто хочет обезопасить себя и свою жизнь. Решением этой проблемы может стать устройство, предложенное в данной работе.

Предложенное устройство имеют низкую стоимость, небольшие массогабаритные параметры, и достаточно низкое энергопотребление. Такое устройство можно интегрировать с уже существующими системами

безопасности (такие как система пожарной безопасности), используя существующие протоколы передачи данных и пульты управления.

Стоит отметить, что данная работа – это только начало, положенное для дальнейших модификаций. Данное устройство можно и нужно развивать, делая из него все более мощный инструмент для контроля безопасности функционирования зданий. Дальнейшим развитием этой работы может стать, например, система определения местоположения дефекта с использованием нескольких таких устройств, что поможет своевременно принять меры по восстановлению поврежденной конструкции.